

## 審査の結果の要旨

氏 名 梅谷 信行

本論文は七章からなり、第一章は導入として、非専門家を対象とした物理的要求を満たす設計ツールの意義を明らかにし、既存の設計ツールの問題点を指摘した上で、それらを解決する手法の概要を示すことで、本論文における貢献について述べている。第二章は、本論文の背景として、現在広く使われている商用化されている設計システムや、実時間シミュレーションの応用例、個人を対象にした工作機械についてサーベイすることで、本研究の位置づけを明らかにしている。第三章は、関連研究として、Computer Graphics（以下CG）における、実製作支援の研究、実時間の数値解析に関する研究、形状最適化、初心者向けの形状編集ツールに関する研究について纏めることで、本研究と既存研究との差分について議論している。

提案手法は第四章から第七章に渡って述べられている。第四章では有限要素法による数値解析において、初期形状編集に対する応答を有限要素法解析の内部での冗長なデータを再利用することによって高速化する方法を提案している。提案手法はあらゆる種類の有限要素法について適応が可能であり、非常に応用範囲が広い。この手法を有限要素法による固有値解析に適応して、鉄琴のデザインシステムを作成することで、非専門家でも自由に鉄琴がデザインできるようになった。これは、楽器を自由にデザインすることが難しいという常識を覆す物であり、評価に値する。

第五章は、有限要素法解析の中でも静解析の場合について、有限要素法の初期形状編集に対する応答を更に高速化する方法を提案している。本論文では設計感度解析という手法を適応することで、このような高速化を実現することを提案しているが、設計感度解析は工学分野におけるオフラインの設計最適化の一手法であり、CGやインタラクティブなアプリケーションへの応用を提案している本論文は新規性が高い。また、既存の設計感度解析は線形近似の手法であるが、本論文では非線形の近似まで新たに手法を拡張した点が評価できる。本論文では、静解析の有限要素法、全てに適応できる一般的な手法を示したが、さらに、衣服の型紙デザインシステムという応用例も示した。衣服のデザインシステムはCGやファッション業界において非常に需要の大きな応用例であり、ま

た型紙のデザインは両業界で長年困難な作業とされていたことから、非専門家でも型紙のデザインを容易にできる方法を提案しており、本論文の与えたインパクトは大変大きいと認められる。

第六章は、シミュレーションの結果を元に、設計の方針をシステムが生成し、ユーザに提示する手法について、釘接合された家具のデザインの例において提案している。家具は複数の木材が複雑に力学的に関連し合っており、それらを自由にデザインすることは非専門家にとって容易ではない。本システムでは、実時間で物理条件を満たすか否か検証する機能に加え、例示機能や注釈機能というインタラクティブデザインにより、非専門家でも家具のデザインが容易にできることを示している。また、設計パラメータの変化による拘束力の変化を拘束力を元とする空間の中での軌跡として表現し、軌跡の一次近似によって高速に近似解を生成する手法を新たに提案している。この手法により、物理条件を満たすような設計の例示がインタラクティブなスピードでできるようになった。物理を考慮した例示はテーマとして新規性が高く評価できる。

最後の第七章は、まとめと今後の課題について述べられている。今後の課題では、本論文で立てられた、物理的な要求を満たす形状をインタラクティブに設計するという研究テーマに対して、シミュレーションの手法、理論や応用例の面から、今後の発展について多角的に論じており、本論文で提示されたこの研究テーマが今後さらに追求され、多くの知見をもたらすことを予見させるものであった。

以上の論文内容と審査を実施した結果、論文内に記された論文提出者の主張が妥当であると評価することができる。すなわち、本論文では物理的な要求を満たす形状を非専門家が設計する際に、どのようなインタラクティブデザインが有効かどうか検証し、そのインタラクティブを実現するような新規性の高いアルゴリズムを幾つか提案している。それによって、今まで困難であった設計対象が、非専門家でもデザインすることが可能になったことが認められる。

なお、本論文第四章は、高山健志、三谷純、五十嵐健夫との、第五章はDanny Kaufman, Eitan Grinspun, 五十嵐健夫との、第六章はNiloy J. Mitra, 五十嵐健夫との共同研究であるが、論文提出者が主体となり問題の設定、手法の提案、分析及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。